

УДК 550.837.2(-923.3)

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ ОБСЕРВАТОРИИ АКАД. ВЕРНАДСКИЙ (АНТАРКТИДА)

И.М.Логвинов<sup>1</sup>, В.Н.Тарасов<sup>1</sup>, Б.Т.Ладановский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт геофизики им.С.И.Субботина НАН Украины, пр. Паладина, 32,03680 Киев,  
E-mail: [tarig@igph.kiev.ua](mailto:tarig@igph.kiev.ua)*

<sup>2</sup> *Карпатское отделение Института геофизики НАН Украины, ул.Научная, 3 Б, 79060 Львов*

**Реферат.** На obs.Вернадский та на островах Берселот і Піттерман за даними спостережень варіацій геомагнітного поля отримано частотні характеристики магнітоваріаційних параметрів  $C_u$  та  $C_v$  в діапазоні періодів від 36 до 10800 с. Згідно одномірної інверсії даних МТЗ, в obs.VRN в геоелектричному розрізі регіону відсутні провідні об'єкти в земній корі та верхній мантії. Результати двовимірного моделювання вздовж профілю, що перетинає Антарктичний півострів дозволяють застосувати методику проведення експериментальних досліджень, за допомогою яких можливо виявити геоелектричні неоднорідності в будові земної кори та верхньої мантії регіону.

**Electromagnetic researches in area of the observatorie Acad. Vernadsky (Antarctic Peninsula)** by I. Logvinov, V. Tarasov, B. Ladanivsky

**Abstract.** On the data of supervision of variations of a geomagnetic field of the induction arrows  $C_u$  and  $C_v$  in in the period range 36 to 10800 s with on observatories VRN and nearby islands Berthelot, Pitterman are received. According to one-dimensional inversion of the data MTS in obs.VRN in a geoelectrical section of region there are no well conducting objects in bottoms crust and upper mantle. The results carried out 2D of modeling along a profile crossing the Antarctic peninsula allow to offer a technique of realization of experimental supervision, with which help it is possible to reveal of geoelectrical heterogeneity in a structure crust and upper mantle of the region.

**Key words:** electromagnetic field, tipper, magnetotelluric sounding.

### 1. Введение

Антарктида постоянно привлекает внимание геологов и геофизиков в связи с изучением тектонического строения территории с целью поиска полезных ископаемых, солнечно-земных связей, физики мезосферы и др. За последние годы резко возросло количество научных публикаций, в которых обобщены результаты геолого-геофизических исследований в районе архипелага Аргентинские острова (Бахмутов,1997; Бюл.УАЦ, 1998; Jozwiak et al, 1998; Корепанов и др., 2004). Благодаря указанным работам видно большое научное значение геофизических исследований на континенте. Остается много нерешенных вопросов, связанных с тектоническим строением осадочного чехла, земной коры и верхней мантии региона.

Целью данной работы является попытка обобщения первых результатов определения параметров магнитотеллурического поля (МТ-поля), полученных на основании данных многолетних наблюдений естественного электромагнитного поля Земли на обсерватории Акад. Вернадский (VRN) и близлежащих пунктах, где такие наблюдения проведены в течение нескольких недель. В настоящей работе приведены интерпретационные параметры МТ-поля на пунктах в районе обсерватории VRN, результаты одномерной (1D) инверсии кривых МТЗ и двумерного (2D) моделирования (прямая задача) вдоль профиля (рис.1), пересекающего архипелаг Аргентинские острова и Антарктический полуостров на широте obs. VRN. В таком диапазоне периодов полные представления параметров МТ-поля (магнитотеллурических и магнитовариационных) для территории Антарктиды приводятся впервые.

В нескольких работах приводятся результаты наблюдений МТ-поля, выполненных в различных частях Антарктического континента. Магнитотеллурические зондирования (МТЗ) – Земля Виктории (Beblo et al., 1990), в Западной Антарктиде (Wannamaker et al, 1996), в районе Южного географического полюса (Wannamaker et al., 2004). Магнитовариационные параметры приведены в работах (Wannamaker et al, 2004; Шотт и др., 2002).



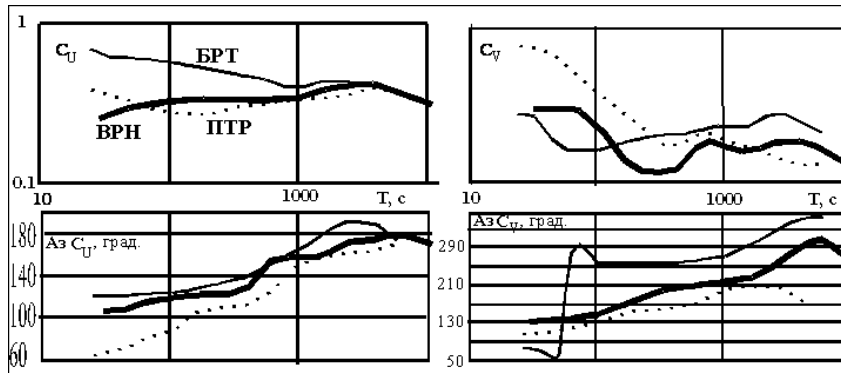


Рис. 3. Частотная зависимость  $C_u$  и  $C_v$  на пунктах ВРН, БРС и ПТР.

Наиболее близки значения  $C_u$  и  $C_v$  на пунктах ВРН и БРС – здесь на периодах  $T_m$  значениям  $C_u$  соответствует почти в 2 раза меньшие значения  $C_v$ , а различие между азимутами  $C_u$  и  $C_v$  превышает  $130^\circ$ . Учитывая технические условия установки аппаратуры на п.ПТР и БРС, большую величину периода максимума частотной характеристики и в связи с этим возможность влияния гармоник суточного хода на магнитовариационные параметры, можно принять поведение  $C_u$  и  $C_v$  на ВРН и БРС как отвечающее двумерной структуре.

Полученные частотные зависимости магнитовариационных параметров резко отличаются от данных для береговых обсерваторий Мирный (МИР) и Дюмонт д'Юрвиль (ДРВ) (Шотт и др., 2002) как по величине, так и по виду частотной зависимости. Величина индукционной стрелки (их азимуты авторы не дают) на указанных пунктах больше 1 для всего приведенного диапазона периодов от 30 до 2000 с. В то же время частотные характеристики  $C_u$  и  $C_v$ , как по виду, так и по величине подобные полученным нами, имеются для obs. Паратунка (Камчатка) (Мороз и др., 2006), расположенной в сходной с obs. ВРН географической обстановке – обсерватория находится на полуострове приблизительно такой же ширины, батиметрия прилегающей акватории Тихого океана также подобна ситуации вблизи obs. ВРН. Трудно сравнивать с данными в (Wannamaker et al., 2004), т.к. там приведены только модули составляющих индукционной стрелки на периодах до 900 с.

## 2.2. Данные магнитотеллурических зондирований (МТЗ)

На рис.4-А приведены значения  $\rho_k$  и фаз импеданса из работы (Корепанов и др., 2004), определенные в главных направлениях (Аз  $50^\circ$  и  $140^\circ$ ), т.е. тех направлениях, в которых основной импеданс в несколько раз превосходит дополнительный. Погрешность определения сопротивления и фазы в большинстве случаев не превышает 10%. Четко видно отличие кривых МТЗ в разных направлениях. В рамках двумерной модели кривая МТЗ в направлении  $50^\circ$  должна соответствовать продольной кривой, т.к. она направлена вдоль береговой линии и перпендикулярно  $C_u$ . Оценка степени горизонтальной неоднородности среды производилась по параметру “skew”. Считается, что значения  $skew > 0.3$  свидетельствуют о трехмерности среды. Полученные частотные зависимости этого параметра дают значения  $skew$  от 0.1 до 0.6 во всем исследованном диапазоне периодов.

Метод МТЗ основан на представлении внешнего источника МТ-поля плоской волной, падающей на горизонтально-слоистую Землю. Горизонтально-слоистая модель часто не соответствует реальному геоэлектрическому строению среды. В результате взаимодействия неоднородностей с МТ-полем возникают эффекты, которые по-разному отражаются на магнитных и электрических компонентах поля. Наиболее значительными являются индукционный и гальванический.

Индукционный эффект связан с перераспределением теллурических токов между вмещающей средой и аномалиями электропроводности. На кривых МТЗ он проявляется в виде слоев. Индукционный эффект зависит от частоты и исчезает с увеличением периода. Для его учета требуются площадные наблюдения и применение программ трехмерного моделирования, которые могут частично решить эту проблему.

Гальваническое искажение МТ-поля приводит к статическому смещению амплитудных кривых МТЗ. Для исключения этого эффекта кривые МТЗ нуждаются в нормализации, которая в настоящее время заключается в восстановлении нормального положения низкочастотных ветвей, отражающих электропроводность нижних частей тектоносферы. Предполагается, что на глубинах, превышающих 400 км, горизонтальные изменения электропроводности малы и кривые МТЗ, полученные в областях, по размерам соизмеримых с глубиной залегания подошвы тектоносферы, должны сливаться на периодах, больших 3 часов. Практически обычно нормализация кривых заключается в смещении низкочастотных частей по вертикали до совмещения с кривой  $\rho_k$ , соответствующей региональному геоэлектрическому строению региона исследований (в случае согласия фазовых кривых МТЗ с опорной кривой).

### 3. Моделирование

#### 3.1. Одномерная (1-D) инверсия данных МТЗ

На рис.4 представлены результаты подбора параметров глубинного геоэлектрического разреза с помощью одномерной инверсии обобщенной кривой зондирования, построенной путем сочленения кривой МТЗ на obs. ВРН и опорной кривой зондирования. Для изучаемой территории в качестве последней были взяты результаты магнитовариационного зондирования (МВЗ), полученные по геомагнитным данным на польской obs. Арктический (рис.1) с использованием поля Dst-вариаций в диапазоне периодов от 967680 до 5693760с (Jozwiak et al., 1998). Как видно из рис.4-А, существует большой разрыв между диапазоном периодов данных МТЗ и МВЗ, что позволяет более-менее уверенно рассматривать лишь геоэлектрический разрез земной коры и части верхней мантии.

Для инверсии использовались метод Паркера (Parker et al., 1981) (D+ алгоритм) и метод OCCAM (Constable et al., 1987). Первый метод основан на представлении разреза в виде слоев нулевой мощности, но конечной проводимости. Им может быть оценено значение суммарной продольной проводимости (S) проводников, выделяемых в разрезе, причем для построения разреза используется кривая  $\rho_k$  во всем наблюдаемом диапазоне периодов одновременно. Второй метод заключается в подборе плавно изменяющихся по проводимости конечного числа слоев, аппроксимирующих экспериментальные данные. Инверсия OCCAM большой вес придает значениям фаз импеданса.

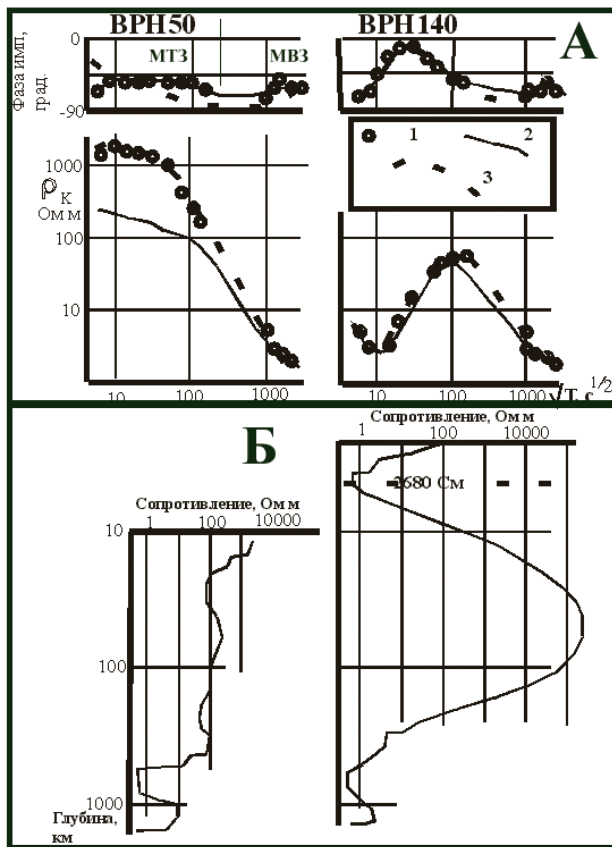


Рис. 4. Сопоставление результатов 1D инверсии и интерпретационной кривой на obs. Вернадский – А.

1 – экспериментальные данные; результаты инверсии: 2 – OCCAM, 3 – D<sup>+</sup>. Геоэлектрический разрез в районе obs. ВРН по данным 1D инверсии – Б.

Как показали результаты инверсии (рис.4-А), амплитудно-фазовое согласие для кривой МТЗ в Az350<sup>0</sup> (MT350) плохое, а для кривой МТЗ в Az140<sup>0</sup> (MT3140) – хорошее. В рамках двумерных моделей геоэлектрической среды МТ350 является продольной, а МТ3140 – поперечной кривыми. На геоэлектрическом разрезе МТ3140 выделяется проводник на глубине менее 400 м с S порядка 2700 См, что согласуется с геоэлектрическими параметрами для морской воды шельфа вблизи остова Галиндес. Учитывая, что проводящими породами на глубинах до 200 км принято считать породы с сопротивлением не более 100 Ом·м, общим для результатов инверсий обеих кривых является факт отсутствия хорошо проводящих образований в земной коре и верхней мантии (рис.4-Б).

Сравнение с результатами МТЗ в других частях Антарктиды показывает следующее. Для двух пунктов (Beblo et al., 1990), расположенных вне ледника Пристли (береговая окраина Земли Виктории), продольные кривые МТЗ в приведенном диапазоне периодов по форме и уровню практически совпадают с МТ350. Результат одномерной инверсии, приведенный в (Beblo et al., 1990), не может быть использован для сопоставления, т.к. наши подходы к интерпретации принципиально отличаются. Еще ближе к Антарктическому полуострову имеются данные интерпретации кривых МТЗ через ледник Бэрт (Wannamaker et al., 1996) и в районе Южного географического полюса (Wannamaker et al., 2004). К сожалению, в указанных работах не приводятся наблюдаемые кривые МТЗ на всех пунктах. Одна из приведенных в (Wannamaker et al., 1996) кривых МТЗ (в пункте, где отсутствуют геоэлектрические неоднородности в разрезе земной коры) совпадает по виду и уровню с МТ350 на obs. ВРН в перекрывающемся диапазоне периодов.



На рис.5 в качестве экспериментальных данных на obs. ВРН даны проекции  $C_u$  и  $C_v$  ( $C_{up}$  и  $C_{vp}$ ) на линию профиля, кроме того, здесь же даны значения индукционной стрелки на береговой obs. ДРВ (Шотт и ДР., 2002). Ширина шельфовой зоны для obs. ДРВ сопоставима с ситуацией в районе obs. ВРН, и при подобии геоэлектрических разрезов вблизи обоих пунктов такое использование данных в ДРВ правомочно. Только для периода меньше 100 с экспериментальные значения для obs. ДРВ согласуются с модельными, причем согласие ухудшается, если в модели убрать наличие в прибрежной полосе островов. В большем диапазоне периодов для obs. ВРН, при согласии  $C_{vp}$  и  $C_{vm}$  в пределах погрешности измерений, значения  $C_{up}$  более чем в 1.2 раза меньше  $C_{um}$ . По величине модельные данные для периодов, больших 100 с, почти в 2 раза меньше, чем значения индукционной стрелки для береговой обсерватории ДРВ.

Для того чтобы согласовать модельные и экспериментальные (для obs.ВНР) данные, можно предположить, что сопротивление морской воды на шельфе моря Беллинсгаузена в два раза выше принятого в модели  $M_o$ . В этом случае, как видно из рис.5-Б, модельные и экспериментальные значения  $C_u$  и  $C_v$  хорошо согласуются в рамках погрешности измерений на периодах, больших 400 с.

Результаты моделирования показали, что наряду с зоной в центре полуострова сведения о геоэлектрическом строении региона можно получить и из наблюдений, выполненных в различных частях архипелага Аргентинские острова, расположенных в шельфовой зоне на различном удалении от берега полуострова.

### Выводы

1. По данным многолетних наблюдений вариаций геомагнитного поля получена частотная характеристика магнитовариационных параметров  $C_u$  и  $C_v$  на obs. ВРН в диапазоне периодов от 36 с до 10800 с. В этом же диапазоне периодов определены  $C_u$  и  $C_v$  на близлежащих островах Берселот и Питтерман. Период максимума значения  $C_u$  (3000–4000 с) и его величина на всех пунктах согласуются с распределением слоя морской воды в окружающих Антарктический полуостров акваториях.

2. Согласно одномерной инверсии данных МТЗ, в районе ВРН отсутствуют хорошо проводящие объекты в низах земной коры и верхней мантии.

3. Результаты проведенного двумерного моделирования позволяют предложить методику проведения экспериментальных наблюдений, с помощью которой можно выявить геоэлектрические неоднородности в строении земной коры и верхней мантии Антарктического полуострова.

### Благодарность

Работа не могла бы быть выполнена без доброжелательного отношения дирекции Антарктического центра Украины, которая дала возможность ознакомиться и использовать материалы долголетних наблюдений на обсерватории Ак.Вернадский.

### Литература

- Бахмутов В.Г.** Магнитная обсерватория Аргентинские острова. Станция Академик Вернадский//Бюл.УАЦ. – 1997. – Вып.1.– С. 20–26.
- Бюлетень** Українського Антарктичного центру//Ред. П.Ф.Гожик. —Киев: Укр. антаркт. центр Миннауки України. – 1998. – Вып.2.– 300 с.
- Грикуров Г.Э.** Геология Антарктического полуострова. М.:Наука, -1973.- 214 с.
- Корепанов В.,** Міліневський Г., Максимчук В., Ладанівський Б., Накалов Є. Стан та перспективи дослідження глибинної будови та динаміки земної кори в районі станції Академік Вернадський геоелектромагнітними методами//УАЖ. – 2004. – № 2.– С. 25–37.
- Ладанівський Б.Т.** Алгоритм обработки данных МТЗ //Тезисы докладов Пятых геофизических чтений им. В.В. Федынского. – М. – 2003.– С.134 –135.
- Мороз Ю.Ф.,** Смирнов С.Э., Мороз Т.А. Результаты мониторинга вариаций геомагнитного поля на Камчатке//Физика Земли. – 2006. – №3. – С.49–56.
- Новожицкий К.,** Пушкарев П.Ю. Анализ эффективности программ для двумерной инверсии магнитотеллурических данных//Физика Земли. – 2001. – 6. – С. 72–85.
- Шепель С.И.** Электрические свойства магматических пород района станции Академик Вернадский//Київ:Бюл.УАЦ. – 2002. – Вып.4. – С. 76–82.
- Шотт Ж.Ж.,** Клейменова Н.Г., Козырева О.В. Временные вариации магнитного отношения в диапазоне геомагнитных пульсаций и магнитовариационные исследования в Антарктиде//Физика Земли. – 2002. – 11. – С. 86–93.
- Beblo M.,** Liebig V. Magnetotelluric measurements in Antarctica//Phys. Earth Planet. Inter. – 1990. – v.60.– P. 89–99.
- Berkman R.,** Korepanov V., Bondaruk B. Advanced flux-gate magnetometers with low drift//Proceedings of XIV IMEKO World Congress, Tampere, Finland. V.IVA. – 1997. – P.121–126.
- Constable S.C.,** Parker R.L., Constable C.G. Occam's inversion: a practical algorithm for the inversion of electromagnetic data //Geophysics. – 1987. – 52. – P.289–300.
- Jozwiak W.,** Semenov V.Y. Deep geoelectrical structure estimation in the West Antarctic//Acta Geophys. Polonica. – 1998. – 46, N161. – P.61–67.

**Parker R.L.**, Whaler K.A. Numerical method for establishing solution to the inverse problem of electromagnetic induction//J. Geophys. Res. – 1981. – 86. – P. 9574–9584.

**Preliminary** analysis of long-period induction across the Trans-European suture zone: CEMES project (2001–2004)//Semenov V.Yu., Pek J., Adama A., Ernst T., Jozwiak W., Kowachikova S., Ladanivskyy B., Logvinov I., Nowozynski K., Tarasov V., Vozar J. and Experimental Team of CEMES//Reports of 17th International Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth. - 2004.

**Sallino P.A.** Geomagnetic measurements at Argentine Islands 1957–82//British Antarctic Survey. – 1985. – 76 p.

**Semenov V.Yu.** Regional conductivity structures of the Earth's mantle//Publish. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. – 1998. – C-65(302). – 122 P.

**Wannamaker Ph.E.**, Stodt J.A., Olsen S.L. Dormant state of rifting below the Byrd Subglacial Basin, West Antarctica, implied by magnetotelluric (MT) profiling//Geophys. Res. Lett. – 1996. – v.23, N21.– P.2983–2986.

**Wannamaker Ph.E.**, Stodt J.A., Pellerin L., Olsen S.L., Hall D.B. Structure and thermal regime beneath the South Pole region, East Antarctica, from magnetotelluric measurements//Geophys. J. Int. – 2004. – v.157. – P.36–54.

**Wieladek R.**, Ernst T. Application of the method of least squares to determining impuls responses and transfer functions//Publish. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. – 1977. – G-1(110). – P. 3–12.